

非鉄金属の切削加工におけるバリの生成機構に関する研究

原田 正和[†] 引地 力男^{††}

A Study on Burr Generation Mechanism in Orthogonal Non-ferrous Metal Cutting

Masakazu HARADA and Rikio HIKIJI

Finish Machining used to be carried out in grinding, but it is being replaced by cutting with very small undeformed chip thickness. In ultra precision machining, the effect of the cutting conditions and the complicated factors on the machined surface integrity is a serious problem. In this research, the cutting burr and work hardened surface layer were dealt with as an evaluation of the machined surface integrity and the effect of the mechanical factors on burr generation and work hardening was investigated experimentally in orthogonal non-ferrous metal cutting. As a result, it was found that there is a significant relationship between the cutting burr and the work hardened surface layer within the range of these experimental conditions. Thus it is possible to predict the depth of work hardened surface layer using the burr size.

Key Words : Burr, Work Hardened Surface Layer, Shear Angle, Shear Strain, Work Hardening, Non-ferrous Metal, Surface Integrity, Orthogonal Cutting

1. 緒 言

超精密切削加工で見られるように、切削加工機械の加工精度の向上にともない、製品の仕上げ加工を切削でおこなおうとする傾向が強まっている⁽¹⁾。高品位加工は機能的品位（加工欠陥・加工変質層・バリ）、幾何学的品位（仕上げ面粗さ・形状精度）、調和技術（サイレントカッティング・無発熱加工）に左右される。機械的品位の1つであるバリは、部品の精度を著しく劣化させるだけでなく組み立て工程などにおける生産の自動化を妨げる問題など種々問題を引き起こす⁽²⁾。それがひいては、製品そのものの性能に悪影響を及ぼす原因になるため、切削加工後のバリを除去する作業工程が必要となってくる。バリの形状や寸法は工作物の材料特性や加工条件、工具の種類などによって多種多様となるため、その自動化が極めて困難であり多くは手作業によるものが現状である。バリは、加工方法によってその種類や大きさの定義があいまいであり、しかもその生成機構は複雑である^{(3)~(8)}。また、切削加工により生成される表面粗さと加工硬化層は、材料の疲労強度などに大きな影響を与える^{(9)~(12)}ため切削面以下に生

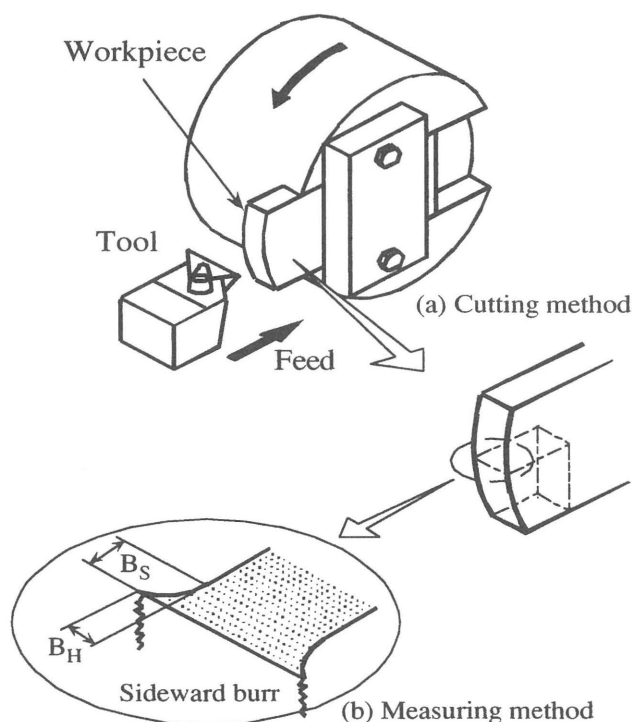


Fig.1 Experimental procedure

[†] 技術室

^{††} 機械工学科

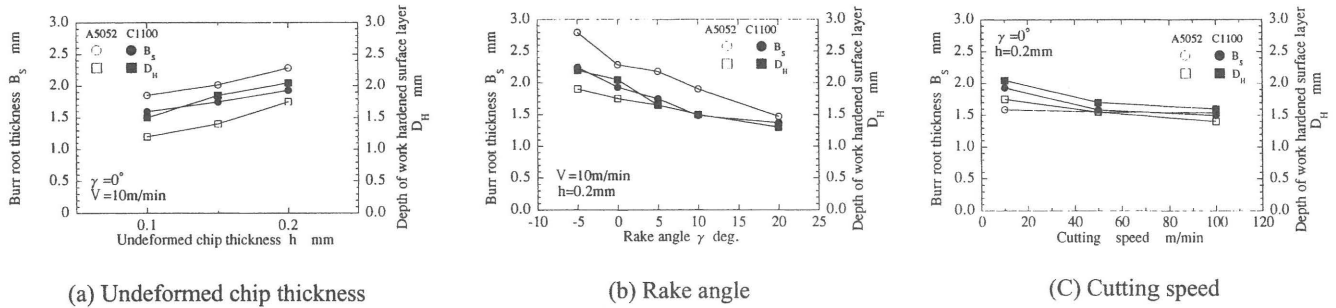


Fig.2 Effects of cutting conditions on burr root thickness and depth of work hardened surface layer

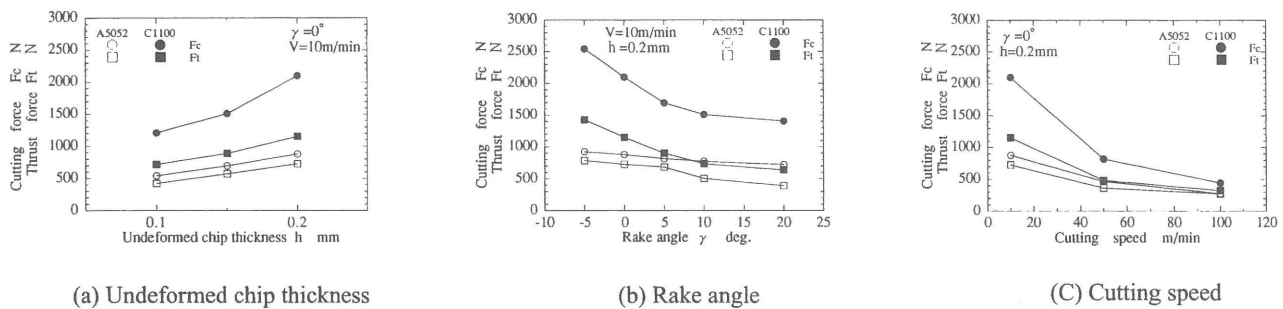


Fig.3 Effects of cutting conditions on cutting force and thrust force

成される加工変質層の生成機構の理解は、高品位の切削加工をおこなううえで重要である。しかし、加工変質層は加工にともなって生じる母材とは性質の異なる部分で、機械的要因、熱的要因、結晶学的要因等が関係するため、この場合もその生成機構は非常に複雑である。また、バリも加工変質層も工具が切削面以下に及ぼす塑性変形仕事が必要となり生成されると考えられる。本研究では、バリの生成機構について実験的に検討することが目的であり、また、塑性変形が成因となって切削面下に生成されるバリの大きさと加工硬化層の深さとの関連について実験的に検討した。

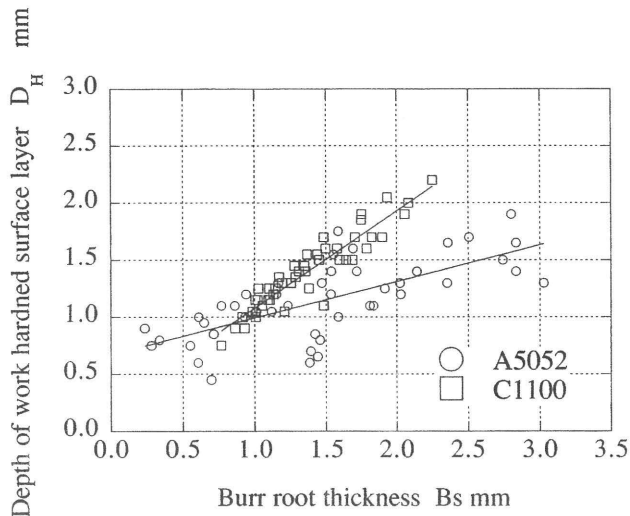
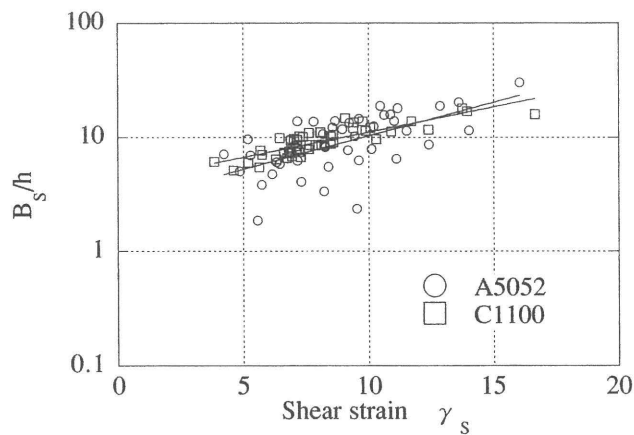
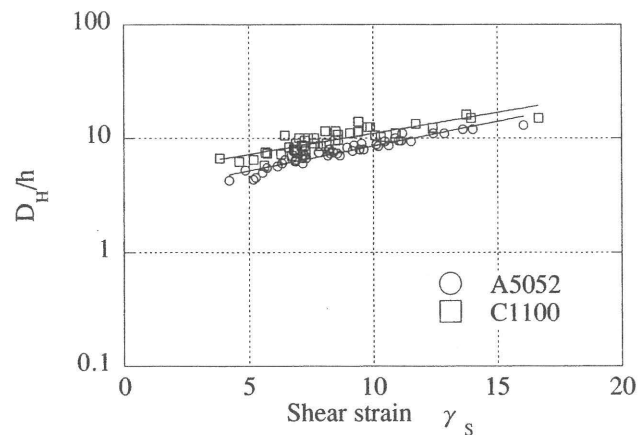
2. 実験方法

実験は図1(a)に示すように旋盤にて、焼きなましを施した幅3mm、切削方向長さ30mmの板材を専用のホルダに固定し、このホルダを旋盤に取り付け、工具を半径方向に送り、乾式の断続二次元切削をおこなった。通常行われるフライス盤や形削り盤を用いた二次元切

Table1 Cutting conditions

Work material	A5052, C1100
Rake angle γ deg.	-5, 0, 5, 10, 20
Clearance angle β deg.	6
Undeformed chip thickness h mm	0.10, 0.15, 0.20
Cutting speed V m/min	10, 50, 100

削では切削速度に限界があるが、図1(a)に示す切削方式では常用切削速度領域での二次元切削が可能である。切削速度を上げると温度も上昇するが、切削温度を工具・工作物熱電対法⁽¹³⁾で測定した結果、いずれの実験の場合も断続切削のせいもあり、最高温度は再結晶温度より100℃以上も低く、また奥島ら⁽¹⁴⁾の実験式を用いて切削温度を求めた場合でも算出された温度は低く、今回の実験の範囲内では温度の影響は無視できるものとした。被削材には非鉄金属のアルミ合金(A5052)とタフピッチ銅(C1100)を用いた。これらはあらかじめ焼きなまし処理を施してある。工具には超硬K10スローウェイトチップを用いた。切削条件を表1に示す。また山本⁽¹⁵⁾は切削の繰り返し回数が増えると加工変質層深さも深くなっていくが、ある回数になると一定になることを実験的に示した。今回、切削回数が5回以上で加工硬化層の深さが安定したので、以後の実験では切削回数は10回とした。なお、切削中は圧電素子タイプの動力計にて切削抵抗を同時に測定した。バリの測定については、切削終了後に切削面の加工部をワイヤ放電加工機で切り出し、熱硬化樹脂に埋め込み、エメリ研磨紙#600・#1500にて研磨後、実体顕微鏡にて測定した。バリの大きさの評価については、面積、高さ、根本厚さなどがあるが、図1(b)に示すように、ここでは側方バリの比較的安定しているバリの根本厚さ B_s について検討した。加工硬化層についてはマイクロビッカース硬


 Fig.4 Relationship between burr root thickness B_s and depth of work hardened surface layer D_H

 Fig.5 Relationship between shear strain γ_s and B_s/h

 Fig.6 Relationship between shear strain γ_s and D_H/h

度計 (荷重: 0.49N) で, 切削面から深さ方向について, 0.05mm ずつ同一深さにて 5 点測定し, その平均値をもって断面硬さ分布曲線を求めた. そして, 母材の硬さに到達するところまでを加工硬化層の深さ D_H とした. なお, このときの硬さのばらつきは 5% 以内であった. 切削後に切りくずの厚さをマイクロメータにてその中央付近の 5 箇所について測定し, その平均値よりせん断角 ϕ を算出した. そして, せん断ひずみ γ_s とバリの根本厚さ B_s 及び加工硬化層の深さ D_H との関係について検討した.

3. 実験結果

前報⁽¹⁶⁾では, すくい角 γ , 切削速度 V , 切取り厚さ h などの切削条件と加工硬化層の深さ D_H との関係について検討し, 切削抵抗が増加するような切削条件の場合, 加工硬化層の深さ D_H も増加した. 勇田ら⁽¹⁷⁾は切削抵抗の背分力が大きくなると切削面下の加工硬化層の深さ D_H が増加することを示した. しかし, 切削抵抗と加工硬化層の深さ D_H とは材料ごとに異なり, また, 必ずしも直線的な関係ではない⁽¹⁸⁾. 図2は, アルミ合金(A5052)及びタフピッチ銅(C1100)の切削条件とバリの根本厚さ B_s , 加工硬化層の深さ D_H との関係を示す. 図より以下のことがわかる.

- (1) 切取り厚さ h が増えたとバリの根本厚さ B_s と加工硬化層の深さ D_H とともに増加する.
- (2) すくい角 γ が増えたとバリの根本厚さ B_s と加工硬化層の深さ D_H とともに減少する.
- (3) 切削速度 V が増えたとバリの根本厚さ B_s と加工硬化層の深さ D_H とともに減少する.

この原因について切削条件と切削抵抗との関係について調べた. 図3は切削条件と切削抵抗との関係を示す. 各条件とも切削抵抗が小さいほどバリの根本厚さ B_s 及び加工硬化層の深さ D_H が小さくなることがわかる. バリの根本厚さ B_s 及び加工硬化層の深さ D_H は切削抵抗が小さくなるような切削条件では減少する. しかし, 規則性はみられない. 図4はバリの根本厚さ B_s と加工硬化層の深さ D_H との関係を示したものである. 図より被削材ごとに一義的な関係が存在する. このことにより材料ごとにおおよそのバリの根本厚さ B_s 及び加工硬化層の深さ D_H を求めることができる. また, それぞれ材料ごとにバリの根本厚さ B_s 及び加工硬化層の深さ D_H の割合が異なる. タフピッチ銅(C1100)の場合は, アルミ合金(A5052)と比較して加工硬化層の深さ D_H の増加の割合が大きい. 切削時に切りくずが受けるせん断ひずみ γ_s は切削面下にも及び加工硬化層が生成されるが, 被削材の端面近傍では, 切りくずは側方にもひずみを生じてその幅が広がり, このひずみが切削面下

にまで及んだものが側方バリであると考え、たとえば切りくずが受けたせん断ひずみ γ_s が小さければバリの根本厚さ B_s も小さくなるはずである。図5は切りくずが受けたせん断ひずみ γ_s と切り取り厚さ h で規準化したバリの根本厚さ B_s との関係を示し、両者には一義的な関係が存在することがわかる。材料ごとに異なる理由として材料の切削面下に及ぶひずみ量が異なることが原因であると思われる。図6は切りくずが受けたせん断ひずみ γ_s と切り取り厚さ h で規準化した加工硬化層の深さ D_H との関係を示す。これも両者には一義的な関係が存在することがわかる。また、材料ごとに違いが見られるのは、材料ごとの力学的因子が大きく異なるためである⁽¹⁹⁾。

4. 結 言

旋盤を用いた二次元切削において、非鉄金属のアルミ合金(A5052)及びタフピッチ銅(C1100)について、バリの生成機構について検討することを目的とし、バリの根本厚さと加工硬化層の深さとの関係について実験的に検討した。その結果として以下の結論を得た。

- (1) バリの根本厚さと加工硬化層の深さとの間には一義的な関係が存在する。
- (2) バリの根本厚さと加工硬化層の深さは切削抵抗の大きさや切りくずが受けたせん断ひずみで整理できる。
- (3) 切りくずの厚さより、バリの根本厚さや加工硬化層の深さを予測することができる。

文 献

- (1) 森脇俊道：切削加工の軌跡，精密工学会誌，**65**-1 (1999), 25-30.
- (2) 切削油剤研究会編：自動化のための図解バリ取り技術，工業調査会，(1994), 17.
- (3) 新井実，中山一雄，切削バリの生成機構に関する研究（第1報），精密工学会誌，**53**-7(1987)，1033.
- (4) 岩田一明，上田完次，奥田孝一，走査型電子顕微鏡直接観察によるバリ生成機構の観察，精密機械，**48**-4(1982)，510.
- (5) 奥島啓式，人見勝人，切削におけるかえりの現象について—二次元切削におけるかえり—，精密機械，**24**-8(1958)，420.
- (6) 河村末久，奥山繁樹，山川純次，白石隆康，二次元切削における横バリの生成機構について，精密工学会誌，**53**-8(1987)，1240.
- (7) 奥島啓式，人見勝人，切削におけるかえりの現象について—三次元切削におけるかえり—，精密機械，**24**-9(1958)，470.
- (8) 佐藤正信，東村嘉弘，高野乾輔，旋削加工におけるバリの生成に関する研究，精密機械，**45**-8(1979)，932.
- (9) 原田昭治，西田新一，遠藤達雄，末弘健次郎，福島良博，山口弘幸，共析鋼の高サイクル回転曲げ疲労（第1報，疲労強度に及ぼす表面粗さおよび微小表面欠陥の影響），機論，**53**-487,A (1987)，401-407.
- (10) 渡部正気，古市博，高硬度鋼の疲労強度に及ぼす研削加工の影響（第2報，疲労き裂生成との関連），機論，**57**-535, C (1991)，1002-1007.
- (11) 西谷弘信，薬師寺輝敏，鹿毛正治，炭素鋼焼なまし材の回転曲げ疲労強度に及ぼす表面加工層の影響，機論，**58**-533,A(1992)，1575-1580.
- (12) 村上敬宜，堤一也，藤嶋正博，疲労強度に及ぼす表面粗さの影響の定量的評価，機論，**62**-597,A(1996)，1124-1131.
- (13) Nakayama,K., Shaw,M.C.,Brewer,R.C., Relationship Between Cutting Forces, Temperatures, Built-up Edge and Surface Finish, *Annals of the CIRP*, **14**, (1966), 211-223.
- (14) 奥島啓式，垣野義昭，切削中の被削材内部の温度分布について（第1報）—測定法と切削表面層の温度分布—，精密機械，**34**-11(1968)，726-730.
- (15) 山本明，切削加工による金属表面層の研究（第2報）—切削角を変化した場合—，精密機械，**15**-7(1949)，143-147.
- (16) Hikiji,R.,Kawano,Y.,Kondo,E.,Arai,M.,Study on Mechanical Factors in Generation Mechanism of Work Hardened Surface layer, 3rd International Conference on Metal Cutting and High Speed Machining Conference Proceedings Vol.2,(2001), 29-32.
- (17) 勇田敏夫，田頭孝介，二次元切削により生ずる加工変質領域の観察，精密機械，**39**-3(1973)，312-317.
- (18) 山本明，切削加工による金属表面層の研究（第1報）—切削角を変化させる場合—，精密機械，**15**-5,6 (1949)，112-117.
- (19) 引地力男他3名，切削加工における加工硬化層の生成機構（第2報，加工硬化層の深さに影響する力学的因子の計算モデルによる検討），機論，**68**-671,A (2002)，2169-2174.